



(19)  
 Bundesrepublik Deutschland  
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 020 349 A1** 2007.10.31

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 020 349.6**

(22) Anmeldetag: **28.04.2006**

(43) Offenlegungstag: **31.10.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F02D 41/14** (2006.01)  
**F02D 41/02** (2006.01)

(71) Anmelder:

**MAHLE International GmbH, 70376 Stuttgart, DE**

(74) Vertreter:

**Patentanwalts-Partnerschaft Rotermund + Pfusch  
 + Bernhard, 70372 Stuttgart**

(72) Erfinder:

**Elsässer, Alfred, Dr., 75210 Kelttern, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

**DE 199 03 721 C1**

**DE 102 06 906 C1**

**DE 42 36 008 C2**

**DE 197 31 129 A1**

**DE 38 39 611 A1**

**EP 11 88 916 A2**

**WO 96/35 048 A1**

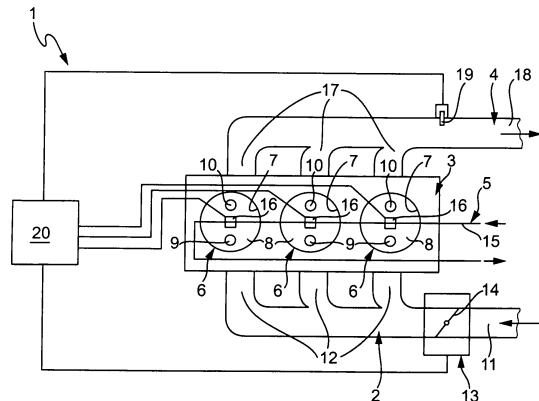
**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Kolbenmotor und zugehöriges Betriebsverfahren**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Betriebsverfahren für einen Kolbenmotor (1), insbesondere in einem Kraftfahrzeug. Der Kolbenmotor (1) umfasst mehrere Zylinder (6) mit Einlassventilen (9), Auslassventilen (10), Brennräumen (7) und Kolben (8), eine Frischgasanlage (2), die ein den Zylindern (6) zugeordnetes Zusatzventil (13) enthält, eine Kraftstoffanlage (5) und eine Abgasanlage (4).

Um den Gleichlauf des Kolbenmotors (1) zu verbessern, wird in der Abgasanlage (4) zylinderselektiv ein Kraftstoff-Frischgas-Verhältnis im Abgas gemessen. Die Kraftstoffanlage (5) wird so betrieben, dass sie bei einem stationären Betriebszustand des Kolbenmotors (1) allen Brennräumen (7) jeweils die gleiche Menge an Kraftstoff zuführt. Das Zusatzventil (13) wird so betrieben, dass bei einem stationären Betriebszustand die den Brennräumen (7) zugeführte Menge an Frischgas in Abhängigkeit des gemessenen Kraftstoff-Frischgas-Verhältnisses zylinderselektiv zur Erzielung eines für alle Zylinder (6) gleichen Zielwerts für das Kraftstoff-Frischgas-Verhältnis eingestellt wird.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Kolbenmotors, insbesondere in einem Kraftfahrzeug, mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1. Die Erfindung betrifft außerdem einen Kolbenmotor, insbesondere in einem Kraftfahrzeug, mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 8.

**[0002]** Aus der EP 0 547 566 B1 ist ein Kolbenmotor bekannt, der in üblicher Weise mehrere Zylinder mit Einlassventilen, Auslassventilen, Brennräumen und darin verstellbaren Kolben aufweist. Des weiteren umfasst der Kolbenmotor eine Frischgasanlage zur Versorgung der Brennräume mit Frischgas, eine Kraftstoffanlage zur Versorgung der Brennräume mit Kraftstoff sowie eine Abgasanlage zum Abführen von Abgas aus den Brennräumen. Beim bekannten Kolbenmotor enthält die Frischgasanlage für jeden Zylinder ein Zusatzventil, das stromauf des Einlassventils des zugehörigen Zylinders angeordnet ist. Mit Hilfe dieser Zusatzventile kann beim bekannten Kolbenmotor die Frischgasversorgung der Brennräume so beeinflusst werden, dass sich im jeweiligen Zylinder eine Temperatur einstellt, die über die adiabate Verdichtungsendtemperatur hinausgeht. Dieses Betriebsverfahren des Kolbenmotors kann auch als Wärmeladung bezeichnet werden.

**[0003]** Aus der DE 43 08 931 C2 ist für einen Kolbenmotor ein als Impulsaufladung bezeichnetes Betriebsverfahren bekannt, bei dem beim jeweiligen Brennraum das zugehörige Einlassventil während eines Einlasshubs des zugehörigen Kolbens kurzzeitig geschlossen wird. Die hierbei auftretenden dynamischen Strömungseffekte führen zur gewünschten Impulsaufladung des jeweiligen Brennraums.

**[0004]** Aus Pischinger „Variable Ventilsteuerung II“, Expert Verlag, Seiten 244 bis 260, ist es bekannt, bei einem Kolbenmotor die Frischgasanlage stromauf von Einlassventilen zu entdrosseln, wobei zur Realisierung der vom jeweiligen Lastzustand des Kolbenmotors abhängigen Frischgasbeladung die Öffnungs- und Schließzeiten der Einlassventile entsprechend adaptiert werden. Die entdrosselte oder drosselfreie Frischgasanlage ist durch das Fehlen einer Drosselklappe charakterisiert, die sich bei einer herkömmlichen Frischgasanlage in einer Sammelleitung stromauf eines Frischgasverteilers befindet, um im Teillastbetrieb des Kolbenmotors die Frischgasversorgung der Brennräume in Abhängigkeit des aktuellen Lastzustands des Kolbenmotors zu drosseln. Die gedrosselte Frischgasversorgung ist problematisch, da die damit einhergehenden Drosselverluste bei der Ladungswechselarbeit vergleichsweise hoch sind. Darunter leidet die Qualität des Verbrennungsprozesses und führt zu vergleichsweise schlechten Emissionswerten und erhöhten Kraftstoffverbrauchs-

werten. Im Unterschied dazu lässt sich bei einer drosselfreien oder entdrosselten Frischgasanlage die Qualität des Verbrennungsprozesses signifikant verbessern, was zu reduzierten Emissions- und Kraftstoffverbrauchswerten führt.

**[0005]** Um die gewünschte Steuerung der Frischgasbeladung, also die Frischgasmengensteuerung bei entdrosselter Frischgasanlage realisieren zu können, arbeitet der bekannte Kolbenmotor mit einer elektromagnetischen Ventilsteuerung, die es erlaubt, die Einlassventile willkürlich zu öffnen und zu schließen. Derartige elektromagnetische Ventilsteuerungen sind jedoch erheblich teurer als herkömmliche, durch Nockenwellen gesteuerte Ventiltriebe.

**[0006]** Bei herkömmlichen Kolbenmotoren kann außerdem eine inhomogene Verteilung des Frischgases auf die einzelnen Brennräume beobachtet werden. Diese Inhomogenitäten sind das Ergebnis geometrischer und strömungstechnischer Eigenschaften der Frischgasanlage. Beispielsweise ist die Frischgasanlage für die einzelnen Brennräume unterschiedlich durch variierende Verzweigungen, Krümmungen, Querschnitte und Längen bei Frischgasleitungen sowie durch variierende Toleranzen innerhalb des Ventiltriebs und durch unterschiedlichen Verschleiß.

**[0007]** Insbesondere können sich die genannten Eigenschaften der Frischgasanlage im Laufe der Zeit, insbesondere durch Verschleiß, ändern.

**[0008]** Diese Inhomogenitäten innerhalb der Frischgaszuführung führen bei Kolbenmotoren, bei denen ein vorbestimmtes Kraftstoff-Frischgas-Verhältnis ( $\lambda$ -Wert) eingehalten werden soll, zu Problemen. Beispielsweise kann die Momenteinleitung in eine von den Kolben angetriebene Kurbelwelle von Zylinder zu Zylinder variieren, wenn bei konstanter Kraftstoffversorgung die Frischgasmenge bei den Zylindern schwankt. Eine ungleiche Momentenverteilung entlang der Zylinder führt zu einem unruhigen Motorlauf, der zu einem vorzeitigen Verschleiß des Kolbenmotors führen kann. Abgesehen davon lassen sich die gewünschten  $\lambda$ -Werte nicht einhalten mit den entsprechenden Folgen für Emissionen und Kraftstoffverbrauch.

**[0009]** Die vorliegende Erfindung beschäftigt sich mit dem Problem, für einen Kolbenmotor der eingangs genannten Art eine Möglichkeit aufzuzeigen, die insbesondere den Motorlauf verbessert und/oder die Einhaltung gewünschter  $\lambda$ -Werte verbessert.

**[0010]** Dieses Problem wird erfindungsgemäß durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

**[0011]** Die Erfindung beruht auf dem allgemeinen Gedanken, das jeweilige Zusatzventil so anzusteuern, dass die den einzelnen Brennräumen zugeführte Menge an Frischgas zylinderselektiv, also für jeden Zylinder separat und unabhängig von den anderen Zylindern, einstellbar oder zumindest beeinflussbar ist. In Verbindung mit einer zylinderselektiven Messung des  $\lambda$ -Werts lässt sich mit Hilfe des oder der Zusatzventile bei jedem Zylinder der  $\lambda$ -Wert mehr oder weniger genau auf einen vorgegebenen Zielwert einstellen. Auf diese Weise können in der Frischgasanlage vorhandene geometrische und/oder strömungstechnische Unterschiede bei der Frischgasversorgung ausgeglichen werden. Des weiteren ermöglicht die zylinderselektive Frischgaszumessung mittels des jeweiligen Zusatzventils innerhalb des jeweiligen stationären Betriebszustands des Kolbenmotors die Zuführung einer für alle Zylinder gleichen Menge an Kraftstoff über die Kraftstoffanlage. Bei gleicher Kraftstoffmenge an allen Zylindern wird bei Erreichen des Zielwerts für das Kraftstoff-Luft-Verhältnis die Momenteinleitung in die Kurbelwelle an allen Zylindern im wesentlichen gleich groß, wodurch ein gleichförmiger Motorlauf erreicht wird.

**[0012]** Besonders vorteilhaft ist bei der Erfindung, dass auch Einflüsse auf die Frischgasversorgung der einzelnen Brennräume, die erst nach einiger Zeit, zum Beispiel durch Verschleiß, entstehen, durch eine entsprechende Anpassung in der Ansteuerung des Zusatzventils für jeden Zylinder separat ausgeglichen werden können.

**[0013]** Die Erfindung ist besonders vorteilhaft bei Kolbenmotoren, die mit einem Kraftstoff-Luft-Verhältnis von 1,0 betrieben werden sollen, da sich bei einem derartigen  $\lambda = 1$ -Konzept Abweichungen in Richtung mager die Emissionswerte und den Wirkungsgrad des Kolbenmotors signifikant verschlechtern und Abweichungen in Richtung fett das am jeweiligen Zylinder erzeugte Moment signifikant reduzieren.

**[0014]** Des weiteren eignet sich die vorliegende Erfindung in besonderer Weise für Kolbenmotoren, deren Frischgasanlage entdrosselt beziehungsweise drosselfrei ausgestaltet ist. Das Zusatzventil kann nämlich zur Zumessung der den einzelnen Brennräumen zuzuführenden Frischgasmenge verwendet werden.

**[0015]** Bemerkenswert ist, dass ein derartiges Zusatzventil für die Zumessung der Frischgasmenge stets zwischen zwei Schaltstellungen umgeschaltet wird, wobei durch die Öffnungszeit des Zusatzventils die dem jeweiligen Brennraum zugeführte Frischgasmenge gesteuert wird. In seinem Offen Zustand weist das Zusatzventil einen vergleichsweise kleinen Durchströmungswiderstand auf, so dass ihm die Drosselwirkung einer herkömmlichen Drosselklappe fehlt.

**[0016]** Weitere wichtige Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, aus den Zeichnungen und aus der zugehörigen Figurenbeschreibung anhand der Zeichnungen.

**[0017]** Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

**[0018]** Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert, wobei sich gleiche Bezugszeichen auf gleiche, ähnliche oder funktional gleiche Komponenten beziehen. Es zeigen, jeweils schematisch,

**[0019]** [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) jeweils eine stark vereinfachte, schaltplanartige Prinzipdarstellung eines Kolbenmotors, jedoch bei verschiedenen Ausführungsformen.

**[0020]** Entsprechend den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) umfasst ein Kolbenmotor **1**, der vorzugsweise in einem Kraftfahrzeug angeordnet ist, eine Frischgasanlage **2**, einen Motorblock **3**, eine Abgasanlage **4** und eine Kraftstoffanlage **5**. Des weiteren enthält der Kolbenmotor **1** in seinem Motorblock **3** mehrere Zylinder **6**, die jeweils einen Brennraum **7** enthalten, in denen jeweils ein Kolben **8** hubverstellbar angeordnet ist und bei denen ein Ladungswechsel jeweils mit Hilfe wenigstens eines Einlassventils **9** und wenigstens eines Auslassventils **10** steuerbar ist. Entsprechende Ventiltriebe zum Ansteuern der Gaswechselventile **9**, **10** sind hier zur Wahrung der Übersichtlichkeit nicht angedeutet.

**[0021]** Die Frischgasanlage **2** dient zur Versorgung der Brennräume **7** mit Frischgas, üblicherweise Luft. Hierzu weist die Frischgasanlage **2** eine gemeinsame Frischgasleitung **11** auf, von der für jeden Zylinder **6** ein einzelnes Frischgasrohr **12** abgeht.

**[0022]** Bei der in [Fig. 1](#) gezeigten Ausführungsform enthält die Frischgasanlage **2** in der Frischgasleitung **11**, also stromauf der Frischgasrohre **12** und insbesondere stromauf der Einlassventile **9** ein Zusatzventil **13**. Im Unterschied dazu zeigt

**[0023]** [Fig. 2](#) eine Ausführungsform, bei der in jedem Frischgasrohr **12** ein solches Zusatzventil **13** angeordnet ist. Bei einem Motorblock **3** mit zwei Zylinderbänken kann die Frischgasanlage **2** zwei Frischgasleitungen **11** aufweisen, in denen jeweils ein solches Zusatzventil **13** angeordnet ist.

**[0024]** Das jeweilige Zusatzventil **13** ist zumindest zwischen einer Schließstellung und einer Offenstel-

lung verstellbar. Ein entsprechendes Stellglied ist hier mit **14** bezeichnet und kann exemplarisch als Klappe, insbesondere als Schmetterlingsklappe, ausgestaltet sein. Ein Stellantrieb zum Antreiben des jeweiligen Stellglieds **14** ist hier nicht dargestellt. Der jeweilige Stellantrieb zeichnet sich dadurch aus, dass er extrem kurze Schaltzeiten für das jeweilige Schaltglied **14** ermöglicht. Insbesondere handelt es sich dabei um einen Hochgeschwindigkeitsstellantrieb, der zum Beispiel elektromagnetisch arbeitet und für das jeweilige Schaltglied **14** Schaltzeiten von weniger als 5 ms, insbesondere von weniger als 3 ms ermöglicht.

**[0025]** Bei den hier gezeigten, bevorzugten Ausführungsformen ist die Frischgasanlage **2** jeweils entdrosselt, also drosselfrei ausgestaltet. Das bedeutet, dass die Frischgasanlage **2** keine Drosseleinrichtung im herkömmlichen Sinne zur Frischgasmengensteuerung enthält, die mit einer lastabhängigen Drosselung der Frischgasströmung arbeitet. Die Frischgasmengensteuerung wird hier durch ein entsprechendes Öffnen und Schließen des jeweiligen Zusatzventils **13** realisiert. Beispielsweise wird die einem bestimmten Zylinder **6** zugeführte Frischgasmenge während eines Einlasshubs des jeweiligen Kolbens **8** bei geöffnetem Einlassventil **9** durch die Öffnungsdauer des jeweiligen Zusatzventils **13** bestimmt. Die Frischgasanlage **2** ist zumindest stromauf des Zusatzventils **13** bzw. stromauf der Zusatzventile **13** drosselfrei beziehungsweise entdrosselt ausgestaltet und enthält somit stromauf des oder der Zusatzventile **13** keine spezielle Drosseleinrichtung.

**[0026]** Die Kraftstoffanlage **5** ist hier exemplarisch als Common-Rail-System ausgestaltet und umfasst dementsprechend eine Hochdruckleitung **15**, an die einzelne, jeweils einem der Brennräume **7** zugeordnete Injektoren **16** angeschlossen sind. Die Kraftstoffanlage **5** dient zur Versorgung der Brennräume **7** mit Kraftstoff.

**[0027]** Die Abgasanlage **4** umfasst hier für jeden Zylinder **6** ein separates Abgasrohr **17**, über das Abgas aus dem jeweils zugeordneten Brennraum **7** abführbar ist. Die Abgasrohre **17** münden in eine gemeinsame Abgasleitung **18** der Abgasanlage **4** ein. In beziehungsweise an der Abgasleitung **18**, also stromab der Abgasrohre **17** ist ein  $\lambda$ -Sensor **19** angeordnet. Dieser  $\lambda$ -Sensor **19** ist hier als Hochgeschwindigkeitssensor ausgestaltet, derart, dass er  $\lambda$ -Werte, also Kraftstoff-Frischgas-Verhältnisse  $\lambda$  im Abgas zylinderselektiv messen kann. Das bedeutet, dass die von den einzelnen Zylindern **6** nacheinander ausgestoßenen Abgasmengen separat hinsichtlich ihres  $\lambda$ -Werts vom  $\lambda$ -Sensor **19** untersucht werden können.

**[0028]** Der  $\lambda$ -Sensor **19** ist ebenso wie die Injektoren **16** und das bzw. die Zusatzventile **13** an eine Steuerung **20** angeschlossen. Die Steuerung **20** kann die vom  $\lambda$ -Sensor **19** ermittelten  $\lambda$ -Werte den

einzelnen Zylindern **6** zuordnen, um dadurch die zylinderselektiven  $\lambda$ -Werte zu ermitteln. Es ist klar, dass anstelle eines einzigen  $\lambda$ -Sensors **19**, der in der Abgasleitung **18** angeordnet ist, auch mehrere  $\lambda$ -Sensoren **19** verwendet werden können, die in den einzelnen Abgasrohren **17** angeordnet sind.

**[0029]** Die Steuerung **20** dient zum Auswerten der Messwerte des  $\lambda$ -Sensors **19** sowie zum Betreiben der Injektoren **16**, also der Kraftstoffanlage **5** und zum Betreiben des Zusatzventils **13** oder der Zusatzventile **13**. Die Steuerung **20** ist softwaremäßig und/oder hardwaremäßig so ausgestaltet, dass sie die damit verbundenen Komponenten, insbesondere das oder die Zusatzventile **13** und die Kraftstoffanlage **5** so betreiben bzw. ansteuern kann, dass mit Hilfe der Steuerung **20** das im folgenden beschriebene Verfahren zum Betreiben des Kolbenmotors **1** realisierbar ist.

**[0030]** Im Betrieb des Kolbenmotors **1** lassen sich mit Hilfe des  $\lambda$ -Sensors **19**, gegebenenfalls unter Mitwirkung der Steuerung **20**, zylinderselektive  $\lambda$ -Werte messen, die im Folgenden auch mit  $\lambda_{\text{IST}}$  bezeichnet werden. Die Kraftstoffanlage **5** wird bei einem stationären Betriebszustand des Kolbenmotors **1**, also bei konstanter Last und Drehzahl so betrieben, dass allen Brennräumen **7** jeweils die gleiche Kraftstoffmenge zugeführt wird. Diese Kraftstoffmenge ergibt sich in Abhängigkeit des jeweiligen Betriebszustands bzw. Lastzustands des Kolbenmotors **1** und ist hinsichtlich Motorwirkungsgrad und Schadstoffemission optimiert. Die entsprechenden Kraftstoffmengen sind beispielsweise in der Steuerung **20** abgelegt. Des weiteren ist in der Steuerung **20** für den jeweiligen stationären Betriebszustand ein Zielwert  $\lambda_{\text{SOLL}}$  für das Kraftstoff-Frischgas-Verhältnis  $\lambda$  abgespeichert, der bei seiner Einhaltung den Kolbenmotor **1** hinsichtlich Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemission optimiert. Das jeweilige Zusatzventil **13** wird nun so betrieben bzw. angesteuert, dass bei besagtem stationären Betriebszustand die den einzelnen Brennräumen **7** zugeführte Frischgasmenge in Abhängigkeit des gemessenen Kraftstoff-Frischgas-Verhältnisses  $\lambda_{\text{IST}}$  zylinderselektiv so eingestellt wird, dass sich der zuvor genannte Zielwert  $\lambda_{\text{SOLL}}$  für das Kraftstoff-Frischgas-Verhältnis  $\lambda$  erzielen lässt. Zum Ansteuern des jeweiligen Zusatzventils **13** wird somit das Kraftstoff-Frischgas-Verhältnis  $\lambda$  eines Verbrennungsvorgangs verwendet, der im jeweiligen Zylinder **6** zu einem früheren Zeitpunkt stattgefunden hat, um die nächste Verbrennung in diesem Zylinder **6** hinsichtlich des Zielwerts  $\lambda_{\text{SOLL}}$  für das Kraftstoff-Frischgas-Verhältnis  $\lambda$  zu optimieren. Bei einer besonders schnell reagierenden Steuerung **20** erfolgt die Ansteuerung des jeweiligen Zusatzventils **13** in Abhängigkeit des im jeweiligen Zylinder **6** im unmittelbar vorausgehenden Verbrennungsprozess entstandenen  $\lambda$ -Werts.

**[0031]** Besonders vorteilhaft ist eine Ausführungsform, bei welcher der Zielwert  $\lambda_{\text{Soll}}$  des Kraftstoff-Frischgas-Verhältnisses  $\lambda = 1$  ist. Bei einem stöchiometrischen Verhältnis zwischen Kraftstoff und Frischgas wird die volle Konvertierungsrate eines Drei-Wege-Katalysators erreicht.

**[0032]** Des weiteren kann zur Betätigung des jeweiligen Zusatzventils **13** vorteilhaft ein geschlossener Regelkreis ausgebildet werden. Das für den jeweiligen Zylinder **6** separat gemessene Kraftstoff-Frischgas-Verhältnis  $\lambda$  bildet dann einen Ist-Wert und wird daher mit  $\lambda_{\text{Ist}}$  bezeichnet. Das Regelziel ist dabei die Einstellung des Zielwerts  $\lambda_{\text{Soll}}$  für das Kraftstoff-Frischgas-Verhältnis  $\lambda$ . Regelgröße ist die Frischgasmenge, die dem jeweiligen Zylinder **6** zugeführt wird. Die Frischgasmenge wird dabei durch eine entsprechende Betätigung des Zusatzventils **13** oder der Zusatzventile **13** für jeden Zylinder **6** separat eingestellt.

**[0033]** Bei einer bevorzugten Ausführungsform wird dem jeweiligen Betriebszustand des Kolbenmotors **1**, insbesondere kennfeldmäßig, eine vorbestimmte Norm-Frischgasmenge zugeordnet, die für alle Zylinder **6** gleich groß ist. Erst wenn sich im Betrieb aufgrund der zylinderselektiven Messung des  $\lambda$ -Werts Unterschiede im Kraftstoff-Frischgas-Verhältnis  $\lambda$  zwischen den einzelnen Zylindern **6** zeigen, werden diese Unterschiede durch entsprechende Adaption der den einzelnen Zylindern **6** zugeführten Frischgasmenge korrigiert. Die Steuerung **20** bewirkt somit eine zylinderselektive Adaption der ursprünglich für alle Zylinder **6** gleichen Norm-Frischgasmenge, um so die den einzelnen Zylindern **6** tatsächlich zugeführte Frischgasmenge zylinderselektiv einstellen zu können.

**[0034]** Das Einstellen der Frischgasmenge erfolgt durch eine entsprechende Betätigung bzw. Ansteuerung des oder der Zusatzventile **13**. Hierzu können Betriebsparameter des jeweiligen Zusatzventils **13** für jeden Zylinder **6** einzeln, also zylinderselektiv variiert bzw. adaptiert werden. Dabei ist es möglich, nur einen einzigen oder mehrere Betriebsparameter zu verändern. Zylinderselektiv einstellbare Betriebsparameter des jeweiligen Zusatzventils **13** sind beispielsweise, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, die Öffnungsdauer des jeweiligen Zusatzventils **13**, der Öffnungszeitpunkt des jeweiligen Zusatzventils **13**, der Schließzeitpunkt des jeweiligen Zusatzventils **13**, der Öffnungsquerschnitt des jeweiligen Zusatzventils **13**, also bei einem hubverstellbaren Stellglied **14** der Öffnungshub und bei einem drehverstellbaren Stellglied **14** der Öffnungswinkel oder Drehwinkel. Des weiteren kann hinsichtlich der Öffnungs-Schließzeitpunkte auch deren relative Lage zu den Öffnungs- und Schließzeitpunkten der jeweiligen Einlassventile **9** von Bedeutung sein.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Kolbenmotors (**1**), insbesondere in einem Kraftfahrzeug,  
 – wobei der Kolbenmotor (**1**) mehrere Zylinder (**6**) mit Einlassventilen (**9**), Auslassventilen (**10**), Brennräumen (**7**) und darin verstellbaren Kolben (**8**) aufweist,  
 – wobei der Kolbenmotor (**1**) eine Frischgasanlage (**2**) zur Versorgung der Brennräume (**7**) mit Frischgas aufweist, die zumindest ein einem oder mehreren oder allen Zylindern (**6**) zugeordnetes Zusatzventil (**13**) enthält,  
 – wobei der Kolbenmotor (**1**) eine Kraftstoffanlage (**5**) zur Versorgung der Brennräume (**7**) mit Kraftstoff aufweist,  
 – wobei der Kolbenmotor (**1**) eine Abgasanlage (**4**) zum Abführen von Abgas aus den Brennräumen (**7**) aufweist,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
 – dass in der Abgasanlage (**4**) zylinderselektiv ein Kraftstoff-Frischgas-Verhältnis ( $\lambda$ ) im Abgas gemessen wird,  
 – dass die Kraftstoffanlage (**5**) so betrieben wird, dass sie bei einem stationären Betriebszustand des Kolbenmotors (**1**) allen Brennräumen (**7**) jeweils die gleiche Menge an Kraftstoff zuführt,  
 – dass das Zusatzventil (**13**) so betrieben wird oder dass die Zusatzventile (**13**) so betrieben werden, dass bei einem stationären Betriebszustand des Kolbenmotors (**1**) die den Brennräumen (**7**) zugeführte Menge an Frischgas in Abhängigkeit des gemessenen Kraftstoff-Frischgas-Verhältnisses ( $\lambda_{\text{Ist}}$ ) zylinderselektiv zur Erzielung eines für alle Zylinder (**6**) gleichen Zielwerts ( $\lambda_{\text{Soll}}$ ) für das Kraftstoff-Frischgas-Verhältnis ( $\lambda$ ) eingestellt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Zielwert ( $\lambda_{\text{Soll}}$ ) des Kraftstoff-Frischgas-Verhältnisses ( $\lambda$ ) gleich 1 ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das zylinderselektive Einstellen der zugeführten Frischgasmenge dadurch erfolgt, dass eine zum Einstellen des Zielwerts ( $\lambda_{\text{Soll}}$ ) des Kraftstoff-Frischgas-Verhältnisses ( $\lambda$ ) vorgesehene, dem jeweiligen Betriebszustand des Kolbenmotors (**1**) zugeordnete und für alle Zylinder (**6**) gleiche Norm-Frischgasmenge in Abhängigkeit einer Abweichung des zylinderselektiven Kraftstoff-Frischgas-Verhältnisses ( $\lambda_{\text{Ist}}$ ) vom Zielwert ( $\lambda_{\text{Soll}}$ ) zylinderselektiv adaptiert wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das zylinderselektive Einstellen der zugeführten Frischgasmenge dadurch erfolgt, dass Betriebsparameter des Zusatzventils (**13**) oder der Zusatzventile (**13**) zylinderselektiv variiert und/oder adaptiert werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet,

zeichnet, dass Betriebsparameter des jeweiligen Zusatzventils (13), die zylinderselektiv variierbar und/oder adaptierbar sind, wenigstens einen der folgenden Parameter umfassen: Öffnungsdauer des jeweiligen Zusatzventils (13), Öffnungszeitpunkt des jeweiligen Zusatzventils (13), Schließzeitpunkt des jeweiligen Zusatzventils (13), Öffnungsquerschnitt des jeweiligen Zusatzventils (13), Öffnungshub des jeweiligen Zusatzventils (13), Öffnungswinkel des jeweiligen Zusatzventils (13).

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Betreiben des jeweiligen Zusatzventils (13) in Abhängigkeit der zylinderselektiven Kraftstoff-Frischgas-Verhältnisse ( $\lambda$ ) als geschlossener Regelkreis zum zylinderselektiven Einstellen des Zielwerts ( $\lambda_{\text{Soll}}$ ) des Kraftstoff-Frischgas-Verhältnisses ( $\lambda$ ) bei allen Zylindern (6) ausgestaltet ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Frischluftanlage (2) entdrosselt und/oder drosselfrei ist.

8. Kolbenmotor, insbesondere in einem Kraftfahrzeug,  
 – mit mehreren Zylindern (6) mit Einlassventilen (9), Auslassventilen (10), Brennräumen (7) und darin verstellbaren Kolben (8),  
 – mit einer Frischgasanlage (2) zum Versorgen der Brennräume (7) mit Frischgas, die zumindest in einem oder mehreren oder allen Zylindern (6) zugeordnetes Zusatzventil (13) aufweist,  
 – mit einer Kraftstoffanlage (5) zum Versorgen der Brennräume (7) mit Kraftstoff,  
 – mit einer Abgasanlage (4) zum Abführen von Abgas aus den Brennräumen (7),  
 – mit einer Steuerung (20) zum Betreiben der Kraftstoffanlage (5) und des Zusatzventils (13) in Abhängigkeit des Betriebszustand des Kolbenmotors (1), dadurch gekennzeichnet,  
 – dass die Abgasanlage (4) wenigstens eine mit der Steuerung (20) gekoppelte  $\lambda$ -Sonde (19) aufweist, die so ausgestaltet ist, dass sie eine zylinderselektive Messung des Kraftstoff-Frischgas-Verhältnisses ( $\lambda$ ) im Abgas ermöglicht,  
 – dass die Steuerung (20) so ausgestaltet ist, dass sie die Kraftstoffanlage (5) so betreibt, dass diese bei einem stationären Betriebszustand des Kolbenmotors (1) allen Brennräumen (7) jeweils die gleiche Menge an Kraftstoff zuführt, und das Zusatzventil (13) oder die Zusatzventile (13) so betreibt, dass dieses/diese bei einem stationären Betriebszustand des Kolbenmotors (1) die den Brennräumen (7) zugeführte Menge an Frischgas in Abhängigkeit der gemessenen Kraftstoff-Frischgas-Verhältnisse ( $\lambda_{\text{Ist}}$ ) zylinderselektiv zur Erzielung eines für alle Zylinder (6) gleichen Zielwerts ( $\lambda_{\text{Soll}}$ ) für das Kraftstoff-Frischgas-Verhältnis ( $\lambda$ ) einstellt/einstellen.

9. Kolbenmotor nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet,  
 – dass der Zielwert ( $\lambda_{\text{Soll}}$ ) des Kraftstoff-Frischgas-Verhältnisses ( $\lambda$ ) gleich 1 ist, und/oder  
 – dass die Frischgasanlage (2) entdrosselt und/oder drosselfrei ist, und/oder  
 – dass die Frischgasanlage (2) zumindest eine Frischgasleitung (11) aufweist, die den Brennräumen (6) über Frischgasrohre (12) Frischgas zuführt, wobei entweder in jeder Frischgasleitung (11) oder in jedem Frischgasrohr (12) jeweils ein Zusatzventil (13) angeordnet ist.

10. Kolbenmotor nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung (20) zur Realisierung der in wenigstens einem der Ansprüche 3 bis 6 beschriebenen Verfahrensmerkmale ausgestaltet ist.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

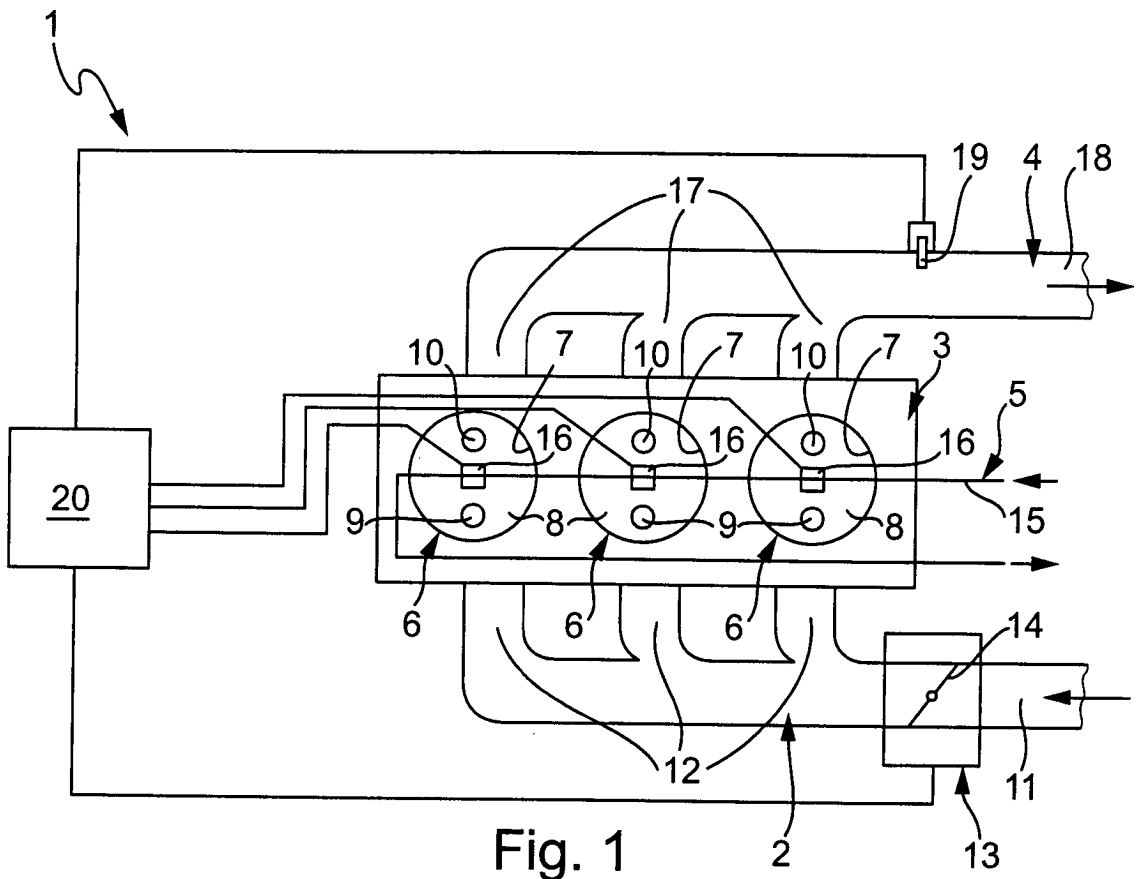


Fig. 1

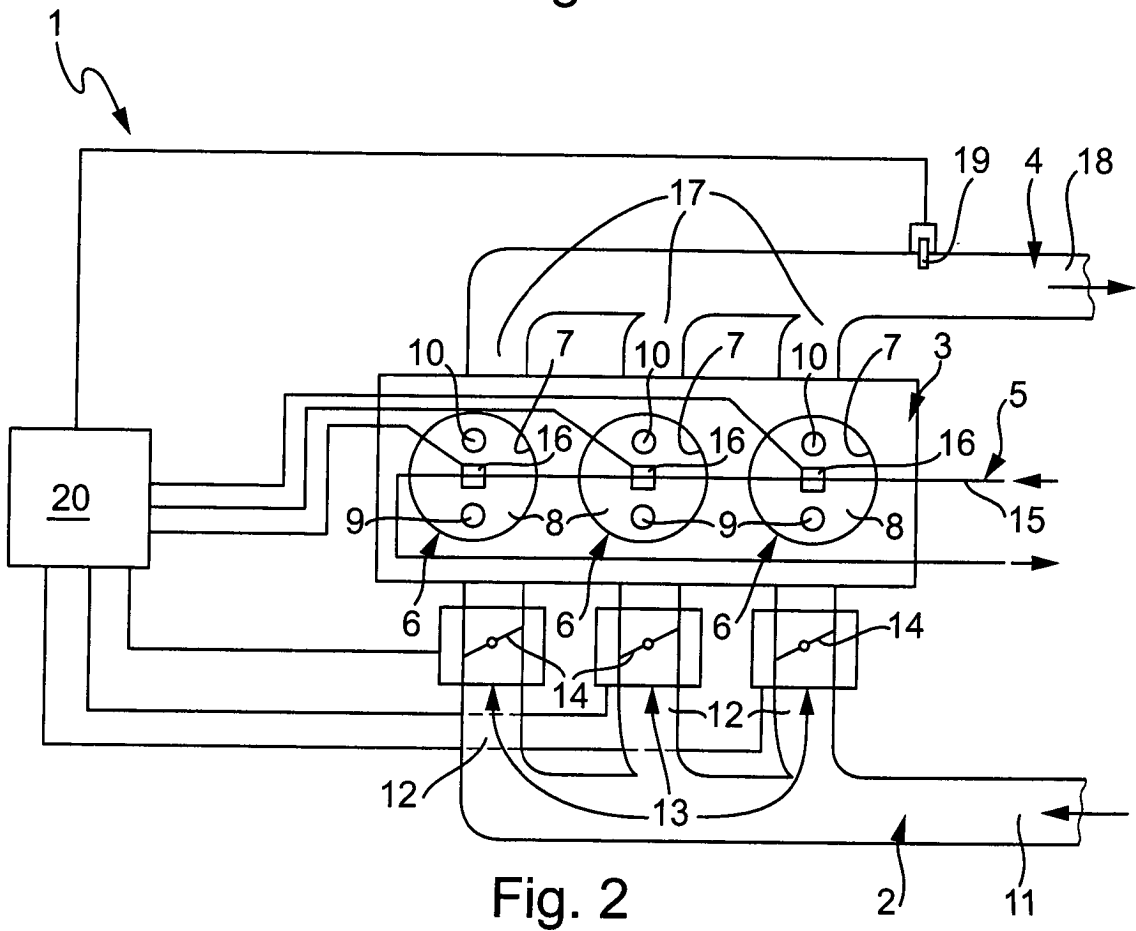


Fig. 2